



การพัฒนาอิฐบล็อกประสานจากดินตะกอนเหลือทิ้งมาใช้ประโยชน์ต่อชุมชน

DEVELOPMENT OF INTERLOCKING BRICK BLOCK FROM SLUDGE ON THE BENEFITS OF LOCAL COMMUNITIES

จิตติพร มงคลชู¹, ณัฐพงษ์ มกระธัช² และชัยยุทธ ชินณะราศรี^{3*}

¹นักวิจัย ศูนย์วิจัยวิศวกรรมและการจัดการน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
²ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
³ศาสตราจารย์ ศูนย์วิจัยวิศวกรรมและการจัดการน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

*Corresponding author: chaiyuth.chi@kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอผลการนำดินตะกอนที่เหลือจากกระบวนการผลิตไฟฟ้ามาพัฒนาเป็นวัสดุก่อสร้างใช้ประโยชน์ในชุมชน จากการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของดินตะกอนเหลือทิ้ง และวิเคราะห์ด้วยเทคนิค X-Ray Fluorescence (XRF) พบว่ามีปริมาณซิลิกอน ไดออกไซด์และอะลูมินา ไดออกไซด์ค่อนข้างมาก ซึ่งเป็นคุณสมบัติพอชโซลานที่สามารถนำมาผสมกับปูนซีเมนต์และเถ้าถ่านหิน เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับอิฐบล็อกประสานได้ จากการทดสอบส่วนผสม 9 สูตร พบว่าสูตรผสมดินตะกอน (Sludge) : เถ้าถ่านหิน (FA) : ปูนซีเมนต์ (OPC) เท่ากับ 50 : 50 : 10 ที่อายุการบ่ม 28 วัน ให้ค่ากำลังอัดสูงสุดเท่ากับ 27.75 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีค่าดูดกลืนน้ำน้อยกว่าร้อยละ 14 ซึ่งมีคุณสมบัติที่เหมาะสมที่สามารถนำไปผลิตเป็นอิฐบล็อกดินตะกอนชนิดที่ไม่รับน้ำหนักได้ จากการนำส่วนผสมนี้ไปผลิตเป็นอิฐบล็อกดินตะกอนขนาดมาตรฐาน กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 10 x 20 x 10 เซนติเมตร ต้นทุนการผลิตต่ำกว่า 10 บาทต่อก้อน โครงการได้นำอิฐบล็อกดินตะกอนไปใช้ประโยชน์ในพื้นที่ชุมชนจำนวน 3 พื้นที่ใกล้เคียงกับโรงไฟฟ้า พบว่าได้รับความร่วมมือและตอบรับจากชุมชนต่างๆ เป็นอย่างดี

คำสำคัญ: ดินตะกอน, วัสดุเหลือทิ้ง, อิฐบล็อกดินตะกอน, การมีส่วนร่วม

ABSTRACT

This paper aims to use sludge, waste material, from the electricity production process for local community benefits. The chemical properties of sludge from power plant was analyzed by X-ray fluorescence (XRF). The result show that the sludge comprises high amounts of SiO₂ and Al₂O₃ as pozzolanic materials, mixed with fly ash and Portland cement to enhance strength of interlocking brick block. From 9 ratios of mixing tested in this study, the optimal ratio is a ratio of sludge: fly ash: Portland cement at 50: 50: 10 and the optimal concrete curing time is 28 days. The maximum compressive strength was 27.75 kilogram per square centimeter (ksc) and the water absorption value is lower than 14%. The interlocking brick block made from sludge was passed the criteria of

Thitiporn Mongkolchoo¹, Nattapong Makaratat² and Chaiyuth Chinnarasri^{3*}

¹Researcher, WAREE, King Mongkut's University of Technology Thonburi

²Asst. Prof., Department of Civil and Env. Eng. Tech., King Mongkut's University of Technology North Bangkok

³Prof., WAREE, King Mongkut's University of Technology Thonburi

Thai Industrial Standard (TIS) and suitable for use as non load bearing construction materials. The blocks sized 10 x 20 x 10 cm. were made from optimal ratio of sludge with the construct cost less than 10 Baht/piece. The blocks were used for construction materials in 3 landmark areas of the community nearby power plant and were received good cooperation and feedback.

KEYWORDS: Sludge, Waste materials, Interlocking brick block, Participation

1. บทนำ

ดินตะกอนในแม่น้ำเกิดจากการสึกกร่อนผุพังของอินทรีย์วัตถุ และอนินทรีย์วัตถุที่มีขนาดเล็ก เช่น กรวด หิน ดิน และทราย ที่เกิดจากกระบวนการสลายตามธรรมชาติ กระแสน้ำพัดพาตะกอนซึ่งเมื่อความแรงลดลงจะเกิดการทับถมของดินตะกอน ดินตะกอนที่มีขนาดใหญ่จะถูกพัดพาไปตกที่ใกล้ ส่วนดินตะกอนที่มีขนาดเล็กจะถูกพัดพาไปตกที่ไกลตามลักษณะของภูมิประเทศ ที่กระแสน้ำที่ไหลผ่าน

องค์ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการนำวัสดุดินมาใช้ประโยชน์ทางวิศวกรรม พบว่าดินตะกอนเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิต น้ำประปาไม่เหมาะสำหรับถมที่ทั่วไป เนื่องจากมีเนื้อดินที่เบา พองตัวเมื่อชุ่มน้ำ ขาดสารอินทรีย์ [1] วัสดุจำพวกดินลูกรังเมื่อมา ผสมกับปูนซีเมนต์และน้ำในสัดส่วนที่เหมาะสม สามารถนำมาใช้ก่อสร้างอาคารและบ้านพักได้ [2] อิฐบล็อกประสานแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ อิฐบล็อกประสานชนิดรับน้ำหนักและอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก ซึ่งคุณสมบัติของอิฐบล็อกทั้ง 2 ประเภทจะแตกต่างกันตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอิฐบล็อกประสาน มผช.602/2547 [3] โดยคุณสมบัติสำคัญของอิฐบล็อก ที่จะต้องพิจารณา ได้แก่ ประเภท ขนาด ลักษณะทั่วไป ค่าความต้านแรงอัด และการดูดกลืนน้ำ

กำลังความต้านแรงอัดของอิฐบล็อกประสานเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก มาตรฐานเลขที่ มอก.57-2533 [4] และมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักมาตรฐานเลขที่ มอก.58-2533 [5] เกณฑ์มาตรฐานค่าความต้านแรงอัดของอิฐบล็อกประสานชนิดรับน้ำหนัก และชนิดไม่รับน้ำหนัก คือ 7.00 เมกะพาสคัล และ 2.00 เมกะพาสคัล ตามลำดับ ความสามารถในการดูดซึมน้ำของอิฐบล็อกประสานขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัยหลักคือ คุณสมบัติของ ส่วนผสมและกรรมวิธีในการผลิต ทั้งนี้หากอิฐบล็อกมีคุณสมบัติที่ไม่พอ อาจทำให้น้ำซึมผ่านเข้าไปในผนัง หรือก่อให้เกิด ความชื้น และเกิดเชื้อรา ทำให้อิฐบล็อกเสื่อมสภาพและสร้างความเสียหายได้ [6]

ในการนำตะกอนที่เหลือทิ้งจากการผลิตน้ำประปามาใช้แทนดินเหนียวเพื่อพัฒนาอิฐมอญ พบว่าอิฐที่มีการผสมตะกอนไม่เกิน ร้อยละ 40 ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก.77-2531 [7] จากการศึกษาปริมาณแฉะลอยที่ร้อยละ 2.50 และร้อยละ 10 ทำให้น้ำหนักเบา กว่าอิฐที่ผลิตได้ทั่วไปร้อยละ 16 ถึง 20 อิฐสามารถรับกำลังแรงอัดได้สูงกว่าที่ มอก.77-2531 กำหนดไว้ และสามารถใช้ปริมาณ ตะกอนได้มากถึงร้อยละ 70 [8]

ดินเหนียวผสมแกลบและเถ้าแกลบในอัตราส่วนตั้งแต่ร้อยละ 0 ถึง 10 โดยน้ำหนัก พบว่าอิฐดินเผาจะมีสมบัติที่ดีที่สุดเมื่อเติม เถ้าแกลบลงไปร้อยละ 2 โดยน้ำหนักโดยมีความสามารถในการรับแรงอัด 6.20 เมกะพาสคัล ความหนาแน่น 1.68 กรัมต่อลูกบาศก์ เซนติเมตร และร้อยละของการดูดซึมน้ำเท่ากับ 15.20 [9] อิฐดินซีเมนต์ที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ผสมดินลูกรัง อัดขึ้นรูปโดยปราศจาก การเผา พบว่าค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติเชิงกลของอิฐดินซีเมนต์มีค่าไม่ดีกว่าอิฐมอญมาตรฐาน และมีความพรุนสูง [10]

ตะกอนจากโรงผลิตน้ำประปามีซิลิกาและอลูมินาเป็นองค์ประกอบหลัก เมื่อนำมาใช้ในการผลิตอิฐมอญ โดยผสมทราย เพื่อลดการหดตัวในปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก เสาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส สามารถรับแรงอัดสูงกว่า 35 กิโลกรัมต่อ ตารางเซนติเมตร และมีคุณสมบัติทั่วไปตามมาตรฐาน มอก.77-2531 [11] ในการศึกษาการใช้ตะกอนประปาทำอิฐมวลเบา โดยใช้

ซีเมนต์ : ตะกอนประปา : ปูนขาว : ทราช : น้ำ : ผงอลูมิเนียม ที่อัตราส่วนเท่ากับ 1.00 : 0.20 : 0.50 : 0.50 : 0.60 : 0.003 ตามลำดับ ได้ค่าการรับกำลังอัดสูงสุดที่อายุการบ่ม 28 วัน เท่ากับ 65 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีค่าการดูดซึมน้ำ ผ่านมาตรฐาน มอก.58-2530 แต่ค่าความหนาแน่นยังไม่ผ่านมาตรฐาน [12] การนำเส้นใยมะพร้าวมาใช้เป็นวัสดุทำคอนกรีตบล็อก พบว่าอัตราส่วนที่ดีที่สุดคือการใช้อัตราส่วน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : ทราช : เส้นใยมะพร้าว เท่ากับ 25.00 : 52.50 : 22.50 และใช้น้ำร้อยละ 15 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ [13]

จากการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมกับวัสดุผสมละเอียด เช่น หินฝุ่นและทราช ในอัตรา 1:6 ถึง 1:11 โดยไม่บ่มน้ำ พบว่ามีค่ากำลังรับแรงกดอัดเฉลี่ยสูงกว่ากำลังรับแรงกดอัดของคอนกรีตบล็อกประเภทไม่รับน้ำหนักตามมาตรฐาน มอก.58-2516 ที่กำหนดให้มีค่าไม่น้อยกว่า 25 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร [14] จากการใช้ตะกอนประปาแทนทราชร้อยละ 40, 50 และ 60 อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.60 เหมาะสมในการหล่อเป็นบล็อกประสานปูพื้น ค่ากำลังอัดสูงสุดที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 163, 142 และ 96 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับร้อยละ 13, 14 และ 15 ตามลำดับ การเลือกใช้อัตราส่วนที่ตะกอนดินผสมอยู่ ร้อยละ 60 เหมาะสมต่อการผลิตบล็อกประสาน โดยผ่านเกณฑ์ มอก.57-2530 [15]

เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของดินตะกอน คือ ซิลิกา (SiO_2) และอลูมินา (Al_2O_3) ซึ่งคล้ายกับองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ นำมาใช้ในงานก่อและงานฉาบได้ และเมื่อผสมในปริมาณร้อยละ 10 ถึง 30 สามารถผลิตเป็นคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักได้ [16] อิฐบล็อกประสานที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ เปลือกหอยเชอรี่บด และดินลูกรัง สามารถใช้เป็นบล็อกรับแรงได้ [17] อิฐบล็อกประสานที่มีส่วนผสมของเถ้าปาล์มและกะลาปาล์มร้อยละ 35 ถึง 40 มีค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่า 2.50 เมกะพาสคาล ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.602/2547) ชนิดไม่รับน้ำหนัก [18] การใช้กากตะกอนจากกระบวนการทำน้ำเกลือให้บริสุทธิ์แทนการใช้ปูนซีเมนต์ ส่วนผสมร้อยละ 40 ผ่านมาตรฐานสำหรับงานก่อผนังกำแพง กั้นห้องที่ไม่รับน้ำหนักและสามารถลดต้นทุนลงได้ถึงร้อยละ 17 [19]

จากการทบทวนเอกสารงานวิจัยที่ผ่านมาข้างต้น บทความนี้จึงมีความสนใจในการศึกษาการนำดินตะกอนที่เหลือจากกระบวนการผลิตไฟฟ้ามาพัฒนาเป็นอิฐบล็อกประสานเกิดประโยชน์แก่ชุมชนได้ โดยมีเนื้อหาของงานวิจัยดังต่อไปนี้

2. การทดลอง

2.1 การเตรียมวัสดุในห้องปฏิบัติการ

งานวิจัยครั้งนี้ได้ใช้วัสดุ 3 ชนิด โดยมีรายละเอียดดังนี้

ดินตะกอนที่เหลือจากกระบวนการผลิตไฟฟ้า (Sludge) ได้ถูกนำไปบดให้แห้ง ด้วยการนำดินตะกอนไปอบบนถาดบางๆ จากนั้นนำไปสูบน้ำเป็นเวลอย่างน้อย 24 ชั่วโมง นำดินตะกอนที่อบจนแห้งแล้วออกจากตู้อบทิ้งไว้จน อุณหภูมิห้องรออุณหภูมิของดินตะกอนเย็นลง จนมีค่าเท่ากับอุณหภูมิห้อง จากนั้นนำดินตะกอนที่อบแห้งแล้วมาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดวัสดุ เพื่อทำดินตะกอนให้มีความละเอียดจนสามารถนำมาผสมกับเถ้าถ่านหินหรือปูนซีเมนต์ได้ ทำการบดดินตะกอนด้วยเครื่องบดที่จำนวนรอบเท่ากับ 3,500 รอบ หลังจากนั้นจึงทำการกรองแยกวัสดุ จะได้ดินตะกอนที่มีความละเอียดเพียงพอต่อการนำไปใช้งาน

เถ้าถ่านหิน (FA) จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ได้จากการเผาถ่านหินซึ่งใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า มีลักษณะเป็นผงละเอียด ขนาดอนุภาคตั้งแต่ 1 ถึง 150 ไมโครเมตร เนื่องจากอนุภาคของเถ้าถ่านหินมีน้ำหนักเบาจะถูกพัดออกมาตามปล่องควันพร้อมไอร้อนจากการเผาไหม้และดักจับด้วยเครื่องดักจับแบบไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Precipitator, ESP) จากนั้นจึงลำเลียงเถ้าถ่านหิน ไปเก็บไว้ในไซโล เพื่อนำไปใช้งานต่อไป

ปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการศึกษานี้ เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (OPC) ซึ่งเป็นปูนซีเมนต์ที่ใช้งานก่อสร้างโดยทั่วไปที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษ โดยมีสมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.15-2555 : ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

2.2 การเตรียมตัวอย่างอิฐบล็อกดินตะกอน

1. ทำการชั่งดินตะกอน เถ้าถ่านหิน และปูนซีเมนต์ ตามอัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก แสดงดังตารางที่ 1 โดยกำหนดให้ผลรวมของอัตราส่วนผสมดินตะกอน (Sludge) และเถ้าถ่านหิน (FA) เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ปูนซีเมนต์ (OPC) เป็นสารเร่งกำลัง
2. ผสมวัสดุที่ชั่งน้ำหนักแล้วให้เข้ากันภายในถาด
3. หลังจากนั้นนำไปผสมอีกครั้งในเครื่องผสมวัสดุแบบใบพัด และเติมน้ำปริมาณร้อยละ 18 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด จนส่วนผสมเป็นเนื้อเดียวกัน
4. นำส่วนผสมที่เตรียมไว้แล้วบรรจุใส่ถาด เพื่อเตรียมการอัดขึ้นรูปในแบบหล่อทรงสี่เหลี่ยมขนาดกว้าง x สูง x ยาว เท่ากับ 10 x 10 x 20 เซนติเมตร ตามมาตรฐาน ASTM C55-09 Standard Specification for Concrete Building Brick [20] แสดงดังรูปที่ 1 และแบบหล่อทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.50 เซนติเมตรและสูง 5.00 เซนติเมตร ตามมาตรฐาน ASTM D2166-16 Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil [21]
5. นำวัสดุอัดใส่แบบหล่อโดยมีแท่นอัดอิฐติดตั้งอยู่บนเครื่องทดสอบกำลังอัด
6. ทำการอัดตัวอย่างอิฐบล็อกดินตะกอนทั้งทรงสี่เหลี่ยมและทรงกระบอก ด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก ด้วยแรงกดเท่ากับ 1.80 ถึง 2.00 ตัน
7. ถอดแบบแท่นอัดอิฐ จะได้ตัวอย่างอิฐบล็อกดินตะกอนที่ทำจากดินตะกอนผสมเถ้าถ่านหิน โดยมีปูนซีเมนต์เป็นสารเร่งกำลังตามขนาดมาตรฐานที่กำหนด ดังรูปที่ 2
8. นำตัวอย่างอิฐบล็อกดินตะกอนที่ได้ทำการอัดขึ้นรูปในห้องปฏิบัติการ มาทำการหุ้มด้วยแผ่นพลาสติกโดยรอบ เพื่อทำการบ่มชื้นในห้องปฏิบัติการ จากนั้นรออายุในการบ่ม เพื่อทำการทดสอบหาค่าการดูดกลืนน้ำ ด้วยเครื่องทดสอบ Optimum Moisture Content และค่าแรงต้านแรงอัดของตัวอย่างอิฐดินตะกอน ด้วยเครื่องทดสอบกำลังอัด และ เครื่องทดสอบแรงอัดแกนเดียว (Unconfined Compression Test)

2.3 การทดสอบแรงอัดแกนเดียว (Unconfined Compression Test)

ทำการอัดขึ้นรูปดินตะกอนในรูปแบบทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.50 เซนติเมตรและสูง 5.00 เซนติเมตร เพื่อทดสอบหาค่าแรงอัดแกนเดียว คือค่าหน่วยแรงสูงสุด (Maximum stress) ซึ่งทำให้ตัวอย่างอิฐบล็อกดินตะกอนทรงกระบอกวิบัติในการขึ้นรูปตัวอย่างอิฐบล็อกดินตะกอนทรงกระบอก ทำโดยการชั่งดินตะกอนเถ้าถ่านหิน และปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนผสมต่างๆ แล้วบรรจุลงในแบบหล่อ หลังจากนั้นอัดขึ้นรูปบนแท่นไฮดรอลิก แล้วนำออกมาห่อด้วยพลาสติกกันน้ำระเหย แสดงดังรูปที่ 3 ทุกอัตราส่วนผสม ทุกช่วงการทดสอบ จำนวน 108 ตัวอย่าง เมื่อบ่มครบอายุ 3, 7, 14 และ 28 วัน แล้วจึงนำก้อนตัวอย่างมาทดสอบ โดยใช้อัตราการกดตัวอย่างร้อยละ 1 ของความสูงตัวอย่างต่อนาที จนกระทั่งตัวอย่างวิบัติ

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมอิฐบล็อกดินตะกอน

อัตราส่วน	อัตราส่วน โดยน้ำหนัก
ดินตะกอนต่อเถ้าถ่านหินต่อปูนซีเมนต์ (Sludge : FA : OPC)	100 : 0 : 0
	100 : 0 : 5
	100 : 0 : 10
	70 : 30 : 0
	70 : 30 : 5
	70 : 30 : 10
	50 : 50 : 0
	50 : 50 : 5
	50 : 50 : 10



รูปที่ 3 การทดสอบแรงอัดแกนเดียว (Unconfined Compression Test)

2.4 การทดสอบกำลังอัดตัวอย่างอิฐบล็อกดินตะกอน

ทำการชั่งน้ำหนักและวัดขนาดของตัวอย่างอิฐบล็อกดินตะกอนทุกก้อน เพื่อหาค่าความหนาแน่นของตัวอย่างอิฐบล็อกดินตะกอนก่อนทำการทดสอบกำลังอัดในแต่ละอัตราส่วนผสม ทำการกดทดสอบก้อนตัวอย่างอิฐบล็อกดินตะกอน ขนาดกว้าง x สูง x ยาว เท่ากับ 10 x 10 x 20 เซนติเมตร จำนวน 225 ก้อน ทุกอายุในการทดสอบ โดยนำก้อนตัวอย่างอิฐบล็อกดินตะกอนมาวางบนเครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัดหรือแรงต้านทาน จากนั้นทำการให้แรงกดทดสอบจนตัวอย่างอิฐบล็อกดินตะกอนเกิดการวิบัติ ดังแสดงในรูปที่ 4 วิธีการวัดขนาด การชั่งน้ำหนัก และการทดสอบหาค่าแรงต้านทานแรงอัด ทำการทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก เลขที่ มอก.57-2533 และมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก เลขที่ มอก.58-2533



รูปที่ 4 การวิบัติของตัวอย่างอิฐบล็อกดินตะกอนบนแท่งทดสอบกำลังอัด

2.5 การทดสอบการดูดกลืนน้ำของก้อนตัวอย่าง

การทดสอบการดูดกลืนน้ำเป็นการหาร้อยละของตัวอย่างอิฐบล็อกดินตะกอนที่เพิ่มขึ้นหลังจากการแช่น้ำ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักของตัวอย่างอิฐบล็อกดินตะกอนในสถานะที่แห้ง ทำการทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก เลขที่ มอก.57-2533 และมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก เลขที่ มอก.58-2533 โดยการนำตัวอย่างอิฐบล็อกดินตะกอนในแต่ละอัตราส่วนผสม จำนวน 45 ก้อน ไปทำการอบในตู้อบวัสดุแห้ง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง รอให้เย็นตัวเพื่อทำการชั่งน้ำหนัก หลังจากนั้นนำก้อนตัวอย่างอิฐบล็อกดินตะกอนไปทำการแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบ 24 ชั่วโมง ทำการเช็ดก้อนตัวอย่างให้ผิวแห้ง เพื่อทำการชั่งน้ำหนักอีกครั้ง แล้วคำนวณหาค่าการดูดกลืนน้ำ ได้จากสมการที่ 1

$$\text{การดูดกลืนน้ำ} = \frac{A-B}{A} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ A คือ น้ำหนักของก้อนตัวอย่างหลังจากแช่น้ำ และ B คือ น้ำหนักของก้อนตัวอย่างในสถานะแห้ง

3. ผลการทดลอง

3.1 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ

จากการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่เป็นส่วนผสมของอิฐบล็อกดินตะกอน พบว่าค่าความถ่วงจำเพาะของดินตะกอน เถ้าถ่านหิน และปูนซีเมนต์ เท่ากับ 2.73, 2.34 และ 3.15 ตามลำดับ และจากการทดสอบองค์ประกอบทางเคมี พบว่ามีซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) และอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ปริมาณสูง (ตารางที่ 2) ซึ่งองค์ประกอบทั้งสองนี้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับวัสดุปอซโซลาน (Pozzolan Material) มีความสามารถในการยึดประสาน โดยเฉพาะในสภาวะที่วัสดุมีความละเอียดมากพอและมีความชื้น จะเกิดการทำปฏิกิริยากับแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ในปูนซีเมนต์ เพิ่มความแข็งแรงและการยึดประสานของปูนซีเมนต์ได้ [22] องค์ประกอบที่พบมากในดินตะกอนอีกชนิดหนึ่ง คือ เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในผลิตภัณฑ์เคลือบสีเซรามิก [23] และแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นธาตุอาหารของพืช [24]

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุ (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)

องค์ประกอบทางเคมี (Chemical Compositions)	ดินตะกอน (Sludge)	เถ้าถ่านหิน (FA)	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (OPC)
SiO_2	41.00	40.90	20.20
Al_2O_3	14.60	22.40	5.10
Fe_2O_3	18.60	13.60	3.70
CaO	0.40	13.60	64.90
SO_3	0.60	1.90	2.10
Na_2O	0.00	0.90	0.00
K_2O	6.90	2.40	0.50
MgO	17.10	2.90	1.00
LOI	0.80	0.80	2.30

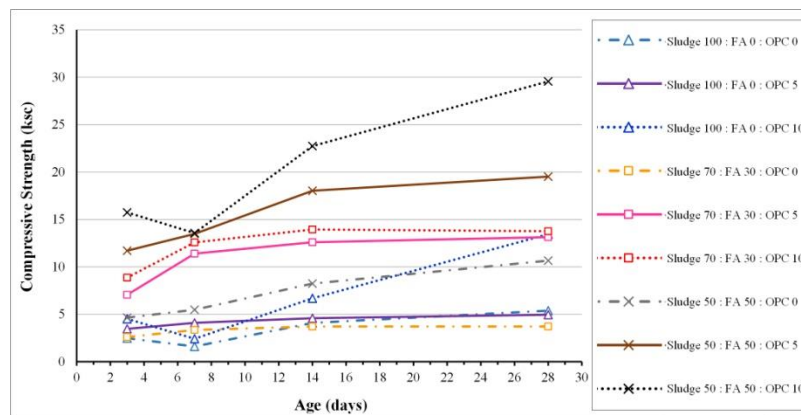
ตัวอย่างอิฐบล็อกดินตะกอนที่ขึ้นรูปในอัตราส่วนต่างๆ จำนวน 9 สูตร ปริมาณน้ำที่ใช้สำหรับทุกอัตราส่วน คือ ร้อยละ 18 ของน้ำหนักส่วนผสมแห้งทั้งหมด และหาค่าความหนาแน่นของตัวอย่างอิฐบล็อกดินตะกอน (ขนาดกว้าง x สูง x ยาว = 10 x 10 x 20 เซนติเมตร) ที่อัตราส่วนต่างๆ ทั้ง 9 อัตราส่วน ดังตารางที่ 3

3.2 การทดสอบแรงอัดแกนเดียว (Unconfined Compression Test)

จากการทดสอบค่ากำลังอัดของตัวอย่างอิฐบล็อกดินตะกอนทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.50 เซนติเมตรและสูง 5.00 เซนติเมตร ที่อัตราส่วนผสมต่างๆ ที่อายุการบ่ม 3, 7, 14 และ 28 วัน เมื่อเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์ในตัวอย่างอิฐบล็อกดินตะกอน กำลังอัดจะเพิ่มขึ้น การลดปริมาณดินตะกอนและเพิ่มปริมาณเถ้าถ่านหินในปริมาณปูนเดียวกัน พบว่าค่ากำลังอัดเพิ่มขึ้นตามปริมาณเถ้าถ่านหินที่เพิ่มขึ้น อัตราส่วนผสมที่ให้กำลังอัดมากที่สุด คือ ดินตะกอน (Sludge) : เถ้าถ่านหิน (FA) : ปูนซีเมนต์ (OPC) เท่ากับ 50 : 50 : 10 ที่อายุการบ่ม 28 วัน มีค่ากำลังอัด 29.56 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (ksc) แสดงดังรูปที่ 5

ตารางที่ 3 ความหนาแน่นเฉลี่ยของตัวอย่างอิฐบล็อกดินตะกอนที่อัตราส่วนผสมต่างๆ

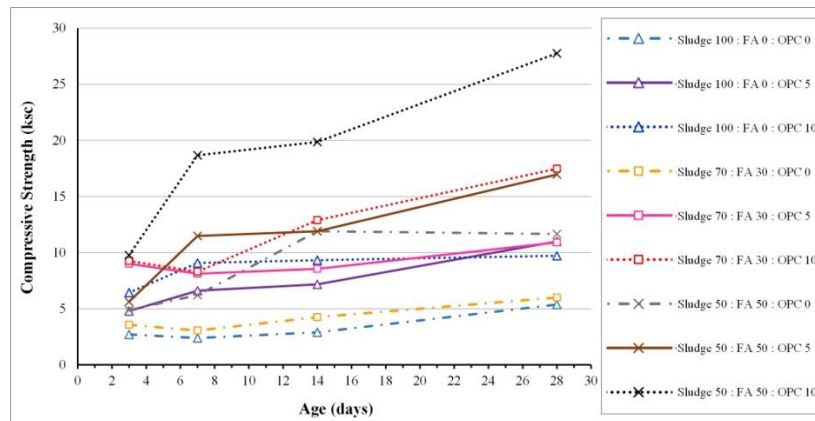
อัตราส่วนผสม Sludge : FA : OPC	น้ำหนักต่อนก้อน (kg)	ความหนาแน่นเฉลี่ย (kg/m ³)
100 : 0 : 0	2.74	1511.20
100 : 0 : 5	3.02	1594.40
100 : 0 : 10	2.97	1543.70
70 : 30 : 0	3.01	1636.13
70 : 30 : 5	3.02	1607.67
70 : 30 : 10	3.03	1622.54
50 : 50 : 0	2.97	1611.45
50 : 50 : 5	2.93	1575.81
50 : 50 : 10	2.93	1573.72



รูปที่ 5 อัตราส่วนผสมและระยะเวลาในการบ่มต่อกำลังอัดแกนเดียว

3.3 การทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างอิฐบล็อกดินตะกอนทรงสี่เหลี่ยม

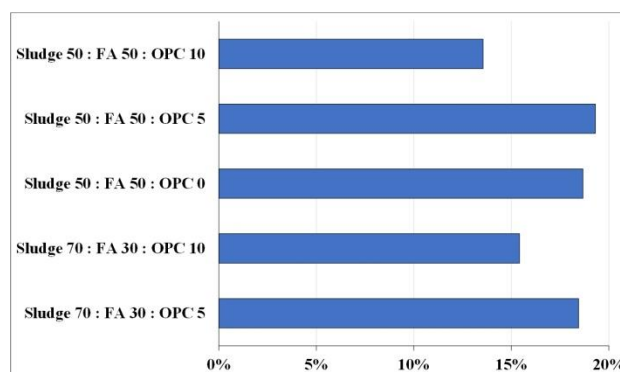
จากการทดสอบค่ากำลังอัดของตัวอย่างอิฐบล็อกดินตะกอนทรงสี่เหลี่ยม ขนาดกว้าง x สูง x ยาว เท่ากับ 10 x 10 x 20 เซนติเมตร ที่อัตราส่วนผสมต่างๆ ที่อายุการบ่ม 3, 7, 14 และ 28 วัน เมื่อเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์ในตัวอย่างอิฐบล็อกดินตะกอน กำลังอัดจะเพิ่มขึ้น การลดปริมาณดินตะกอนและเพิ่มปริมาณเถ้าถ่านหินในปริมาณปูนเดียวกัน พบว่า ค่ากำลังอัดเพิ่มขึ้นตามปริมาณเถ้าถ่านหินที่เพิ่มขึ้น อัตราส่วนผสมที่ให้กำลังอัดมากที่สุด คือ ดินตะกอน (Sludge) : เถ้าถ่านหิน (FA) : ปูนซีเมนต์ (OPC) เท่ากับ 50 : 50 : 10 ที่อายุการบ่ม 28 วัน มีค่ากำลังอัด 27.75 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (ksc) แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 อัตราส่วนผสมและระยะเวลาในการบ่มต่อกำลังอัดแห้งตัวอย่างทรงสี่เหลี่ยม

3.4 การทดสอบการดูดกลืนน้ำของตัวอย่างอิฐบล็อกดินตะกอน

จากการนำตัวอย่างอิฐบล็อกดินตะกอน ขนาดกว้าง x สูง x ยาว เท่ากับ 10 x 10 x 20 เซนติเมตร ไปทำการอบ แห้งในน้ำ และทำการแช่ดักก่อนตัวอย่างจนผิวแห้ง พบว่าที่อัตราส่วนผสมดินตะกอน (Sludge) : ใ้ถ้า่านหิน (FA) เดียวกัน เมื่อเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์ (OPC) ในตัวอย่างจะทำให้ค่าการดูดกลืนน้ำลดลง โดยที่อัตราส่วนผสมดินตะกอน (Sludge) : ใ้ถ้า่านหิน (FA) เท่ากับ 70 : 30 พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์ (OPC) จาก 5 ส่วนเป็น 10 ส่วน จะทำให้ค่าการดูดกลืนน้ำลดลงจาก 18.45% เป็น 15.42% เช่นเดียวกัน ที่อัตราส่วนผสมดินตะกอน (Sludge) : ใ้ถ้า่านหิน (FA) เท่ากับ 50 : 50 เมื่อเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์ (OPC) จาก 5 ส่วนเป็น 10 ส่วน ค่าการดูดกลืนน้ำจะลดลงจาก 19.31% เป็น 13.55% แสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 การดูดกลืนน้ำ

3.5 การนำอิฐบล็อกดินตะกอนไปใช้งาน

จากคุณสมบัติทางเคมีของดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงไฟฟ้าพระนครใต้ที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค X-Ray Fluorescence (XRF) พบว่า ดินตะกอนมีปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) และอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ปริมาณสูง ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สามารถนำมาผสมกับปูนซีเมนต์และใ้ถ้า่านหินได้ เมื่อทดลองผสมอัตราส่วนผสมจำนวน 9 สูตร และทดสอบคุณสมบัติด้านกำลังอัด

และร้อยละการดูดกลืนน้ำตาม มอก.58-2533 อิฐคอนกรีต ไม่รับแรง ประเภทคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก และมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มพช.602/2557 อิฐบล็อกประสาน ชนิดไม่รับน้ำหนัก พบว่า อัตราส่วนผสมดินตะกอน (Sludge) : เถ้าถ่านหิน (FA) : ปูนซีเมนต์ (OPC) เท่ากับ 50 : 50 : 10 ที่อายุการบ่ม 28 วัน เป็นอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในการนำไปขึ้นรูปเป็นอิฐบล็อกดินตะกอน ให้ค่ากำลังอัดสูงสุดเมื่อเทียบกับอัตราส่วนผสมอื่นโดยมีค่ากำลังอัดเท่ากับ 27.75 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (ksc) และมีค่าดูดกลืนน้ำน้อยกว่าร้อยละ 14 ดังนั้น อัตราส่วนผสมนี้เหมาะสมที่สุดที่จะนำไปผลิตอิฐบล็อกดินตะกอน ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก มอก.58-2533 และมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มพช.602/2547 อิฐบล็อกประสาน ชนิดไม่รับน้ำหนัก

จากการทดสอบค่ากำลังอัดของอิฐบล็อกดินตะกอนด้านการใช้งาน ที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดอิฐบล็อกดินตะกอน ที่อายุ 120 วัน โดยทดสอบอัตราส่วนผสมที่ให้กำลังอัด ที่อายุการบ่ม 28 วัน คือ อัตราส่วนผสมของดินตะกอน (Sludge) : เถ้าถ่านหิน (FA) : ปูนซีเมนต์ (OPC) เท่ากับ 50 : 50 : 10 จากการทดสอบตัวอย่างทั้ง 3 ก้อน พบว่าอิฐบล็อกดินตะกอนที่มีอายุ 120 วัน มีค่ากำลังอัดเพิ่มสูงขึ้นจากที่อายุ 28 วัน โดยมีค่ากำลังอัดเฉลี่ย เท่ากับ 79.98 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (ksc) ดังตารางที่ 4 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า อิฐบล็อกดินตะกอนที่อายุ 120 วัน มีกำลังสูงเพียงพอต่อการนำไปใช้งาน

ตารางที่ 4 ค่ากำลังอัดของอิฐบล็อกดินตะกอนด้านการใช้งาน

ก้อนที่	ขนาด กว้างxสูงxยาว (cm)	พื้นที่รับกำลังอัด (cm ²)	น้ำหนัก (kg)	ความหนาแน่น (kg/m ³)	กำลังอัดประลัย (kgf)	ค่ากำลังอัด (ksc)
1	10.00 x 10.76 x 19.99	199.90	3.00	1761.86	15896.95	79.51
2	10.00 x 10.64 x 19.98	199.80	2.92	1719.22	17134.82	85.77
3	9.96 x 10.57 x 19.97	198.90	2.92	1714.23	14848.98	74.64
ค่ากำลังอัดเฉลี่ย (ksc)						79.98

หมายเหตุ ความหนาแน่น คัดจากปริมาตรจริงของอิฐบล็อกดินตะกอน

3.6 การสำรวจความคิดเห็นของชุมชนก่อนการพัฒนาอิฐบล็อกดินตะกอน

จากการสำรวจความคิดเห็นของชุมชนบริเวณโดยรอบโรงไฟฟ้า จำนวนผู้ตอบแบบสอบถาม 150 คน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเพศชาย อายุระหว่าง 41-60 ปี ประกอบอาชีพหลากหลาย แต่ส่วนใหญ่รับจ้าง และค้าขาย การศึกษาอยู่ในระดับ ประถมศึกษาถึงประกาศนียบัตรวิชาชีพ มีรายได้ไม่น้อยกว่า 15,000 บาทต่อเดือน ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ ไม่มีความรู้เกี่ยวกับการสามารถนำดินตะกอนมาใช้ประโยชน์ได้ แต่เชื่อว่าถ้ามีการผสมทางเคมีแล้ว น่าจะนำมาทำเป็นอิฐบล็อก ที่มีความแข็งแรง ใช้ประโยชน์ในชุมชนได้ โดยคิดว่าสามารถนำอิฐบล็อกที่ได้จากการศึกษามาซ่อมแซมอาคารทั่วไปได้

3.7 การสำรวจความคิดเห็นของชุมชนภายหลังการพัฒนาอิฐบล็อกดินตะกอน

จากการสำรวจความคิดเห็นของตัวแทนชุมชนที่เข้าร่วมการอบรม และสาธิตการอัดขึ้นรูปอิฐบล็อกดินตะกอนจำนวน 32 คน พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามมีความพึงพอใจที่สามารถนำดินตะกอนเหลือใช้มาผสมทางเคมี และได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็งแรง สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในชุมชนได้ รูปตัวอย่างการนำอิฐบล็อกดินตะกอนไปใช้ประโยชน์ และการสาธิตการ

ผลิต แสดงดังรูปที่ 8 นอกจากนี้แล้ว ได้พบความคิดเห็นที่น่าสนใจ ในการนำดินตะกอนไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ ตัวอย่างเช่น ใช้เป็นส่วนผสมปุ๋ยทางดินที่ใช้ปลูกพืชหรือการผลิตเป็นผ้าห่มปูนผสมดินตะกอน ซึ่งสามารถใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น ปรับปรุงคลังคลอง ซ่อมแซมพื้นที่ทั่วไป และปูพื้นทางเดินอเนกประสงค์ เป็นต้น



รูปที่ 8 ภาพตัวอย่างการทำกิจกรรมร่วมกับชุมชน

3.8 ต้นทุนการผลิต

การศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติ และต้นทุนการผลิตอิฐบล็อกดินตะกอนแต่ละอัตราส่วน กับอิฐบล็อกในตลาดก่อสร้าง ที่มีขนาด กว้าง x สูง x ยาว เท่ากับ 10 x 10 x 20 เซนติเมตร แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 คุณสมบัติและราคาต้นทุน ของอิฐบล็อกดินตะกอนแต่ละอัตราส่วนผสม เปรียบเทียบกับอิฐบล็อกในตลาด

อัตราส่วนผสม Sludge : FA : OPC	ความหนาแน่น (kg/m ³)	ร้อยละ การดูดกลืนน้ำ	ค่ากำลังอัดที่อายุ การบ่ม 28 วัน (ksc)	ราคาต้นทุน (บาท/ก้อน)
70 : 30 : 5	1607.67	18.45	10.91	7.36
70 : 30 : 10	1622.54	15.42	17.47	9.16
50 : 50 : 0	1611.45	18.67	11.66	5.68
50 : 50 : 5	1575.81	19.31	16.96	7.48
50 : 50 : 10	1573.72	13.55	27.75	9.28
อิฐบล็อกในตลาด		2.30	15.00	12.00
มอก. 58-2533	ไม่ระบุ	<25.00	20.40	
มพช. 602/2547	ไม่ระบุ	<28.00	25.50	

4. สรุปผลการวิจัย

จากการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีของดินตะกอนเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าของโรงไฟฟ้า ด้วยเทคนิค X-Ray Fluorescence (XRF) พบว่า มีปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) จำนวนมาก และมีอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ค่อนข้างมาก ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สามารถนำมาผสมกับปูนซีเมนต์และเถ้าถ่านหิน เพื่อเพิ่มความแข็งแรงได้

อิฐบล็อกดินตะกอนที่อัตราส่วนผสมต่างกันให้ค่ากำลังอัดที่แตกต่างกัน สำหรับส่วนผสมที่อัตราส่วนผสม ดินตะกอน (Sludge) : เถ้าถ่านหิน (FA) : ปูนซีเมนต์ (OPC) เท่ากับ 50 : 50 : 10 พบว่า ได้ค่ากำลังอัดที่อายุการบ่ม 28 วัน เท่ากับ 27.75 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (ksc) และมีค่าดูดกลืนน้ำน้อยกว่าร้อยละ 14 ซึ่งสามารถนำมาใช้งานก่อนผนังไม่รับน้ำหนักได้หรือใช้ตกแต่งสวนได้ เมื่อทดสอบกำลังอัดอิฐบล็อกดินตะกอนที่อายุ 120 วัน พบว่า ค่ากำลังอัดได้เพิ่มสูงขึ้น โดยมีค่าเฉลี่ยกำลังอัดเท่ากับ 79.98 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (ksc) จึงสรุปได้ว่า อิฐบล็อกดินตะกอนมีกำลังสูงเพียงพอต่อการนำไปใช้งานก่อนผนังไม่รับน้ำหนักได้

จากการสำรวจความคิดเห็นของชุมชนก่อนและหลังการศึกษาพัฒนาดินตะกอนเหลือทิ้ง พบว่า การศึกษานี้สามารถช่วยให้ชุมชนมีความรู้ความเข้าใจถึงศักยภาพการพัฒนาดินตะกอนเหลือทิ้งมาให้ประโยชน์เป็นอิฐบล็อกดินตะกอนได้ รวมถึงสามารถนำไปพัฒนาเป็นวัสดุอื่นๆ ได้เช่นกัน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ช่วยนักวิจัยในห้องปฏิบัติการทดสอบวัสดุ และในศูนย์วิจัยวิศวกรรมและการจัดการน้ำ (วาริ) ที่ทำงานอย่างทุ่มเท และการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัย เครื่องมือ-อุปกรณ์ และอนุญาตให้ใช้พื้นที่เพื่อการศึกษาในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Metropolitan Waterworks Authority. *Utilization of sludge from water purification for economic purpose project concept*, 2010. Available from: [Accessed 25 January 2018].
- [2] Thailand Institute of Scientific and Technological Research. *History of TISTR cement block and interlocking block*. Available from: [Accessed 19 January 2019].
- [3] Thai Industrial Standard Institute. TCPS 602/2547: 2004. *Interlocking block*, Bangkok: TISI, 2004.
- [4] Thai Industrial Standard Institute. TISI 57-2533: 1990. *Hollow load-bearing concrete masonry unit*, Bangkok: TISI, 1990.
- [5] Thai Industrial Standard Institute. TISI 58-2533: 1990. *Hollow non-load-bearing concrete masonry unit*, Bangkok: TISI, 1990.
- [6] Anatpong Parahas, Yingsawad Chaiyakul. Moisture and water absorption by lightweight concrete blocks. In: *4th Building Technology Alliance Conference on Energy and Environment (BTAC)*, 2017, pp. 113-121.
- [7] Kritsada Numnowl. *Use of sludge from water treatment plant as brick material*. Master thesis, Mahanakorn University of Technology, 1997.
- [8] Somkiat Roddeeying. *The quality improvement of brick made of sludge from water treatment plant*. Master thesis, Mahanakorn University of Technology, 1998.
- [9] Sutas Janbuala. The development of composition for bricks products of Ayuttaya and Angthong province. *SDU Research Journal*, 2012, 5 (1), pp. 13-21.
- [10] Sittichai Seangatith. Testing for mechanical properties of soil-cement brick and comparing with Masonry Bricks. *Suranaree Journal of Science and Technology*, 1992, 6 (2), pp. 97-103.

-
- [11] Permpon Kanchanamai and Patcharaporn Suwanvitaya. *The utilization of sludge from bangkhen water treatment plant in construction industry*. Master Thesis, Kasetsart University, 2003.
- [12] Nipon Tanpaiboonkul. *Use of cement sludge from water treatment plant and lime (CaO) to produce aerated brick*. Project, National Research Council of Thailand, 2011.
- [13] Saksit Srisaeng, Uppawit Suwakantakul and Soodchai Ngaosiprai. A study of the ratio of portland cement, sand and coconut coir for lightweight hollow non-load bearing concrete. *Journal of Industrial Education*, 2007, 1 (1), pp.77-87.
- [14] Sittichai Seangatith. *Ratio of cement and stone dust suits for brick production*. TCA e-magazine, 2013, 20 (1). Available from: http://www.thaitca.or.th/index.php?option=com_content&view=article&id=156:2013-12-04-06-42-50&catid=63:-20---2013&Itemid=55 [Accessed 5 June 2018].
- [15] Somboon Kongsomsaksiri and Adisorn Pongsuwan. *Paving block mixed with sludge-ash*. Project, The Thailand Research Fund, 2008.
- [16] Nichada Chatsatapattayakul, Monton Wangwiang and Patthra Pengthamkeerati. Potential use of chemical sludge from water treatment system with cement in cement mortar and soil cement block. *Rajabhat Journal of Science, Humanities & Social Sciences*, 2012, 13 (1), pp. 48-54.
- [17] Suriya Garaged. *Compressive strength of interlocking block manufactured from cement and crushed golden apple snail shell*. Master Thesis, Suranaree University of Technology, 2014.
- [18] Charoon Charoennatkul. Interlocking blocks containing oil palm ash and shells waste. *Journal of Community Development and Life Quality*, 2014, 2 (1), pp.103-112.
- [19] Ratchanee Kongmuang. *A production of interlocking block made of sludge from brine purification of a rock salt factory in Nakhonratchasima province*. Master thesis, Sukkhothai Thammathirat Open University, 2010.
- [20] ASTM International. ASTM C55: 2017. *Standard specification for concrete building brick*. Pennsylvania: ASTM International, 2017.
- [21] ASTM International. ASTM D2166: 2016. *Standard test method for unconfined compressive strength of cohesive soil*. Pennsylvania: ASTM International, 2016.
- [22] Ekkasit Sirisurawong, *Development of the cement replacement material from water treatment sludge and rice husk ash*. Master Thesis, Suranaree University of Technology, 2015.
- [23] Pornchai Pantung. The development ceramics glaze from local clay. *Journal of Thai Interdisciplinary Research*, 2015, 10 (3), pp. 38-44.
- [24] Mahler, L.R. University of Idaho. *Nutrients plants require for growth*, 2004. Available from: <https://www.extension.uidaho.edu/publishing/pdf/CIS/CIS1124.pdf> [Accessed 31 January 2019].